

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-272781

(43)Date of publication of application : 07.11.1990

(51)Int.Cl.

H01L 41/09

(21)Application number : 01-094814

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 14.04.1989

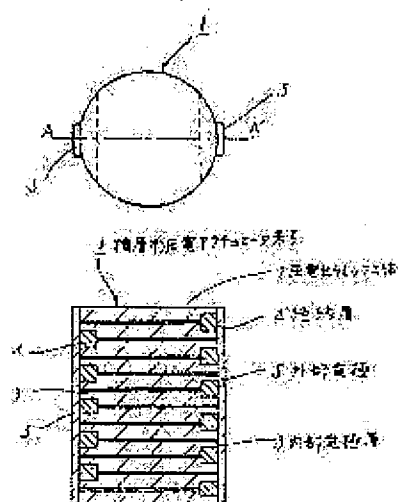
(72)Inventor : KAMATAKI HIROTERU  
MATSUMOTO TOKUKATSU  
KAWAMURA YUKINORI

## (54) LAMINATED PIEZOELECTRIC ACTUATOR ELEMENT

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain excellent maximum displacement maximum occurrence amount and to improve reliability by setting crystal grain size of piezoelectric ceramics to a specific range.

**CONSTITUTION:** The crystal grain size of a piezoelectric ceramic unit 2 used for a laminated piezoelectric actuator element 1 is 2-4.5 $\mu$ m. A plurality of inner electrode layer 3 is buried in close contact with the whole surface of the main surface between the units 2, the layers 3 are connected therebetween by interposing an insulating layer 4 at the side end at every other layer, outer electrodes 5 are provided from above, and externally connected in parallel. Thus, satisfactory piezoelectric and chemical properties are obtained, and high maximum displacement and maximum generation amounts are obtained to attain high reliability.



**\* NOTICES \***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

(57) [Claim(s)]

[Claim 1]A laminated type electrostrictive actuator element using an electrostrictive ceramics object characterized by comprising the following in which it is a laminated type electrostrictive actuator element, and 2-4.5 micrometers was made to a crystal grain diameter.

Two or more laminated laminated electrostrictive ceramics objects.

Two or more internal electrode layers embedded among these electrostrictive ceramics objects by being close all over a main table side of each electrostrictive ceramics object.

Exterior electrodes which impress different polar piezo-electricity by turns to these internal electrode layers.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[Industrial Application]

This invention relates to the laminated type electrostrictive actuator element used for various mechatronics apparatus.

[Description of the Prior Art]

Development of the electrostrictive actuator used as a control device which mechatronics apparatus developed quickly in recent years, drove the robot etc. in connection with this, and used minute displacement and generative force is also prosperous. The electrostrictive ceramics by which polarization was carried out to especially the thickness direction is accumulated as a stack so that the polarization direction may counter mutually. Since the laminated type electrostrictive actuator element which generates the electric field induction distortion of electrostrictive ceramics can obtain big displacement with small voltage, the usefulness attracts attention.

Drawing 4 is a mimetic diagram showing the structure of a laminated type electrostrictive actuator element, and it is a figure with which Drawing 4 (a) expresses a top view and Drawing 4 (b) expresses the A-A' section of Drawing 4 (a). As shown in Drawing 4 (a) and (b), as for the structure of the laminated type electrostrictive actuator element 1, many internal electrode layers 3 are embedded to the inside of the electrostrictive ceramics object 2.

The connection between each internal electrode layer 3 is electrically externally connected in parallel by making the insulating layer 4 placed between side edge parts every other layer, and forming the exterior electrodes 5 from on the.

Manufacture of this laminated type electrostrictive actuator element is performed in general as follows. A piezo-electric high distorted constant ( $d_{33}$ ). The precursor powder end of the electrostrictive ceramics of a  $\text{PbTiO}_3$ - $\text{PbZrO}_3$ - $\text{Pb}(\text{nickel, Nb})\text{O}_3$  or  $\text{PbTiO}_3$ - $\text{PbZrO}_3$ - $\text{Pb}(\text{Mg, nickel})\text{O}_3$  system it has by processes, such as shaping, calcination, and polish. The silver paste of the internal electrode electrode layer 3 is applied and laminated on the laminated electrostrictive ceramics object 2 about 0.5 mm thick, and nothing and this electrostrictive ceramics object 2, After \*\*\*\*(ing) a slit to put on the side edge part of this layered product further by turns, the insulating layer 4 can be formed in that slit, and the laminated type electrostrictive actuator element 1 shown in Drawing 4 can be obtained by attaching the exterior electrodes 5 after that.

Thus, in setting up manufacturing conditions, in order to raise generative force, the various characteristics of displacement, for example, amount, of the laminated type electrostrictive actuator element 1 which are obtained, usually, it is carried out so that the most desirable conditions may be adopted.

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

However, in order to obtain the electrostrictive actuator element which has the good characteristic and to find out desirable manufacturing conditions, Such combination must be accurately performed out of many conditions, and since this includes an operationally quite complicated factor, it is desirable to define the requirements which can perform characterization still more efficiently about an electrostrictive actuator element.

Generally the ceramic sintered body is made in a place good [ if the sintering state is the same, the one where a crystal grain diameter is smaller has high intensity, and the characteristic's is good, and / to usually calcinate using the precursor powder end of detailed particle diameter ]. Then, in the case of an electrostrictive ceramics object, this invention persons pay their attention to the size of a crystal grain diameter as effective requirements for obtaining the good characteristic, It asked for the relation between a crystal grain diameter and piezoelectric property, and from a viewpoint that it is effective that a crystal grain diameter performs characterization of electrostrictive ceramics, when a crystal grain diameter was made small, it was made to get to know experimentally how piezoelectric property would change.

This invention is made in view of an above-mentioned point, the purpose sets up the optimal crystal grain diameter of an electrostrictive ceramics object, and it is in providing the laminated type electrostrictive actuator element which has the good characteristic.

[The means for solving a technical problem]

In order to solve an aforementioned problem, the laminated type electrostrictive actuator element of this invention makes the range of 2-4.5 micrometers to the crystal grain diameter of the electrostrictive ceramics object which constitutes this element.

## [Function]

Having made it become a range whose crystal grain diameter of an electrostrictive ceramics object is 2-4.5 micrometers in this invention to a sake. By what is necessary's being to control only a firing condition among many manufacturing conditions, and moreover determining the optimal crystal grain diameter range, Being able to acquire piezoelectric property and an electrostrictive ceramics object with a good mechanical strength, the laminated type electrostrictive actuator element after an assembly shows the value excellent in maximum displacement and the maximum yield, and also comes to increase reliability.

## [Example]

This invention is explained based on an example below.

Production of the laminated type electrostrictive actuator element of this invention, Carry out using the usual method mentioned above, and a ball mill grinds the raw material of  $\text{PbTiO}_3$ ,  $\text{PbZrO}_3$ , and  $\text{Pb}(\text{nickel } 1/3, \text{Pb } 2/3) \text{O}_3$  so that it may become the predetermined mixture ratio first, After having obtained detailed powder, having calcinated this, grinding in 20mmphi and thickness of 0.5 mm and forming the internal electrode layer of silver paste, 80 sheets of this electrostrictive ceramics object were laminated, and the laminated type electrostrictive actuator element with the structure which provided an insulating layer and exterior electrodes and was shown in Drawing 4 was produced. The size of the crystal grain diameter of the electrostrictive ceramics object to which this invention persons paid their attention the above process, Since it was determined by the calcination temperature and retention time of raw material impalpable powder by which preferential grinding was carried out, calcination temperature was 1050-1250 \*\*, retention time was made into 2 to 48 hours, the electrostrictive ceramics object of 24 conditions by both combination was produced, and those crystal grain diameters were measured. A vertical axis is made into calcination temperature and it makes a horizontal axis retention time, and Drawing 1 is a related figure showing the size of the crystal grain diameter of the electrostrictive ceramics object acquired corresponding to these both combination, and has filled in the high line which classifies the range of each crystal grain diameter by the dotted line.

The diagram of Drawing 2 showed the crystal grain diameter of a piezoelectric ceramic body and the relation of piezoelectric property which were obtained in this way. Drawing 2 is a diagram which made specific inductive capacity ( $\epsilon/\epsilon_0$ ) and the electromechanical coupling coefficient ( $K_r$ ), and the horizontal axis the crystal grain diameter for the vertical axis, and plotted both relation, curvilinear (\*\*) expresses specific inductive capacity ( $\epsilon/\epsilon_0$ ), and curvilinear (\*\*) expresses the electromechanical coupling coefficient ( $K_r$ ). It turns out that specific inductive capacity ( $\epsilon/\epsilon_0$ ) is or more in 5700 from Drawing 2, and the crystal grain diameter of 0.55 or more electrostrictive ceramics objects acquired has an electromechanical coupling coefficient ( $K_r$ ) in the range of 2-4.5 micrometers.

For example, more specifically, An electrostrictive ceramics object and calcination temperature of 1200 \*\* with the electrostrictive ceramics object, the calcination temperature of 1175 \*\*, and the crystal grain diameter of 3.74 micrometers of retention time 24 hours which have the calcination temperature of 1150 \*\*, and a crystal grain diameter of 3.35 micrometers of retention time 24 hours from Drawing 1 again, If piezoelectric property is shown about an electrostrictive ceramics object with the crystal grain diameter of 3.92 micrometers of retention time 10 hours, the result shown in the 1st table will be obtained.

第 1 表

焼成条件		結晶粒 径	比誘電率	電気機械結 合係数
温度 (°C)	保持時間 (hr)	( $\mu\text{m}$ )	( $\epsilon/\epsilon_0$ )	( $K_r$ )
1150	24	3.35	6450	0.585
1175	24	3.74	6250	0.575
1200	10	3.92	6350	0.575

Next, in order to evaluate the mechanical strength of an electrostrictive ceramics object, the crack length of the indentation produced according to the load of the Vickers hardness scale was asked for the fracture toughness value ( $K_{IC}$ ). Drawing 3 a vertical axis The fracture toughness value ( $K_{IC}$ ) of an electrostrictive ceramics object, It is the diagram which used the horizontal axis as the crystal grain meter, and expressed both relation, and a point of Drawing 3 to intensity also shows that the range which shows a value with a size of the crystal grain diameter of a ceramic body high in the maximum neighborhood of a fracture toughness value ( $K_{IC}$ ) is 2-4.5 micrometers by \*\*.

According to the diagram of Drawing 2 and Drawing 3, can make small above the size of the crystal grain diameter of piezoelectric property and the electrostrictive ceramics object with which it is fully satisfied of all of a mechanical strength to 2 micrometers, but. As for the size of the maximum, limiting to 4.5 micrometers is optimal, and a firing condition is acquired from the combination of both who make calcination temperature of 1050-1250 \*\*, and retention time 2 to 50 hours from Drawing 1.

Then, about an electrostrictive ceramics object with each crystal grain diameter of 3.35 micrometers, 3.74 micrometers, and 3.92 micrometers described above. As a result of laminating 80 things with 0.5 mm [ in thickness ], and a diameter [  $\phi$  ] of 20 mm, respectively, producing a laminated type electrostrictive actuator element and searching for an element characteristic, direct current voltage was able to be impressed 400V and the maximum displacement of 40-50 micrometers and 800-1000 kg of the maximum generative force were able to be acquired. These values correspond twice [ about ] to an element conventionally.

Thus, the laminated type electrostrictive actuator element of this invention can raise weighted solidity remarkably by defining the optimal range of the crystal grain diameter of the electrostrictive ceramics object which constitutes this. [Effect of the Invention]

In order to raise the characteristic of a laminated type electrostrictive actuator element, those combination has performed from the inside of the manufacturing conditions of the former many, but. By controlling the size of the crystal grain diameter of an electrostrictive ceramics object by this invention, and considering it as the optimal size range by it, as the example described, It makes it possible for you to give good piezoelectric property and mechanical property, to make it reflected in the piezoelectric property of the element which laminated these electrostrictive ceramics objects, to have high maximum displacement and the maximum generative force, to excel in endurance, and to obtain the large laminated type electrostrictive actuator element of reliability. And since the correlation of calcination temperature and retention time can determine only depending on a firing condition, management of a manufacturing process is very easy for determining the optimal range of the crystal grain diameter of an electrostrictive ceramics object, and its efficiency is also high.

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2540939号

(45)発行日 平成8年(1996)10月9日

(24)登録日 平成8年(1996)7月25日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 41/083

H 0 1 L 41/08

S

請求項の数1 (全 4 頁)

(21)出願番号	特願平1-94814	(73)特許権者	999999999 富士電機株式会社 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
(22)出願日	平成1年(1989)4月14日	(72)発明者	鎌滝 裕輝 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
(65)公開番号	特開平2-272781	(72)発明者	松本 徳勝 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
(43)公開日	平成2年(1990)11月7日	(72)発明者	河村 幸則 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号 富士電機株式会社内
		(74)代理人	弁理士 山口 巖
		審査官	岡 和久
		(56)参考文献	特開 昭56-152287 (J P, A)

(54)【発明の名称】 積層形圧電アクチュエータ素子

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 積層された複数の薄板状の圧電セラミックス体と、これらの圧電セラミックス体の間に、各圧電セラミックス体の主表面の全面に密接して埋め込まれた複数の内部電極層と、これら内部電極層に交互に異なる極性の圧電を印加する外部電極とを備えた積層形圧電アクチュエータ素子であって、結晶粒径が2～4.5 $\mu$ mに仕上げられた圧電セラミックス体を用いたことを特徴とする積層形圧電アクチュエータ素子

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

本発明は各種メカトロニクス機器に用いられる積層形圧電アクチュエータ素子に関する。

【従来の技術】

近年メカトロニクス機器が急速に発展し、これに伴い

2

例えばロボットなどを駆動し、微小な変位や発生力を利用した制御装置として用いられる圧電アクチュエータの開発も盛んである。とくに厚さ方向に分極された圧電セラミックスをその分極方向が互いに対向するようにスタックとして積み重ね、圧電セラミックスの電界誘起歪を発生させる積層形圧電アクチュエータ素子は、小さな電圧によって大きな変位を得ることができるのでその有用性が注目されている。

第4図は積層形圧電アクチュエータ素子の構造を示す模式図であり、第4図(a)は平面図、第4図(b)は第4図(a)のA-A'断面を表わす図である。第4図(a)、(b)のように積層形圧電アクチュエータ素子1の構造は、圧電セラミックス体2の内部に内部電極層3が多数埋め込まれており、各内部電極層3間の接続は1層おきに側端部に絶縁層4を介在させて、その上から

外部電極 5 を設けることにより、外部で電氣的に並列に接続している。

この積層形圧電アクチュエータ素子の製造は概ね次のようにして行なわれる。高い圧電歪定数 ( $d_{33}$ ) を有する  $\text{PbTiO}_3$ — $\text{PbZrO}_3$ — $\text{Pb}(\text{Ni}, \text{Nb})\text{O}_3$  もしくは  $\text{PbTiO}_3$ — $\text{PbZrO}_3$ — $\text{Pb}(\text{Mg}, \text{Ni})\text{O}_3$  系の圧電セラミックスの原料粉末を成形、焼成、研磨などの過程によって厚さ 0.5mm 程度の薄板状の圧電セラミックス体 2 とし、この圧電セラミックス体 2 に内部電極極層 3 の銀ペーストを塗布して積層し、この積層体の側端部に交互に一層置きにスリットを穿削した後、そのスリット内に絶縁層 4 を形成し、その後外部電極 5 をとりつけることにより第 4 図に示した積層形圧電アクチュエータ素子 1 を得ることができる。

このようにして得られる積層形圧電アクチュエータ素子 1 の諸特性例えば変位量や発生力を向上させるためには、製造条件を設定するに当たって最も好ましい条件を採用するように行なわれるのが普通である。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、良好な特性を有する圧電アクチュエータ素子を得るために好ましい製造条件を見出すには、数多くの条件の中からこれらの組み合わせを適確に行なわなければならない、このことは実施上かなり複雑な要因を含むことから、圧電アクチュエータ素子についてさらに効率よく特性評価を行なうことが可能な要件を定めることが望ましい。

所で一般にセラミックス焼結体は、焼結状態が同じであれば結晶粒径の小さい方が強度が高く、特性も良好であり、通常は微細な粒径の原料粉末を用いて焼成するのがよいとされている。そこで本発明者らは、圧電セラミックス体の場合、良好な特性を得るための効果的な要件として結晶粒径の大きさに着目し、結晶粒径と圧電特性との関係を求め、結晶粒径によって圧電セラミックスの特性評価を行なうのが有効であるとの観点から、結晶粒径を小さくしたとき、圧電特性がどのように変わるかを実験的に知ることとした。

本発明は上述の点に鑑みてなされたものであり、その目的は圧電セラミックス体の最適結晶粒径を設定し、良好な特性を有する積層形圧電アクチュエータ素子を提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記課題を解決するために、本発明の積層形圧電アクチュエータ素子は、この素子を構成する圧電セラミックス体の結晶粒径を 2～4.5  $\mu\text{m}$  の範囲に仕上げたものである。

〔作用〕

本発明では圧電セラミックス体の結晶粒径が 2～4.5  $\mu\text{m}$  の範囲となるようにしたために、多くの製造条件のうち、焼成条件のみを制御すればよく、しかも最適結晶粒径範囲を決定することにより、圧電特性、機械的強度の良好な圧電セラミックス体を得ることができ、組み立

て後の積層形圧電アクチュエータ素子は、最大変位量、最大発生量ともすぐれた値を示し、信頼性も増すようになる。

〔実施例〕

以下本発明を実施例に基づき説明する。

本発明の積層形圧電アクチュエータ素子の作製は、前述した通常の方法を用いて行なったものであり、まず所定の混合比となるように  $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{PbZrO}_3$ 、 $\text{Pb}(\text{Ni } 1/3, \text{Pb } 2/3)\text{O}_3$  の原材料をボールミルにより粉碎し、微細な粉末を得、これを焼成し 20mm  $\phi$ 、厚さ 0.5mm に研磨して銀ペーストの内部電極層を形成した後、この圧電セラミックス体を 80 枚積層し、絶縁層と外部電極を設けて第 4 図に示した構造をもつ積層形圧電アクチュエータ素子を作製した。

以上の過程で本発明者らの着目した圧電セラミックス体の結晶粒径の大きさは、混合粉碎された原料微粉末の焼成温度と保持時間により決定されるので、焼成温度を 1050～1250℃、保持時間を 2～48 時間として、両者の組み合わせによる 24 条件の圧電セラミックス体を作製し、それらの結晶粒径を測定した。第 1 図は縦軸を焼成温度、横軸を保持時間とし、この両者の組み合わせに対応して得られる圧電セラミックス体の結晶粒径の大きさを示した関係図であり、各結晶粒径の範囲を区分する等高線を点線で記入してある。

かくして得られた圧電セラミックス体の結晶粒径と圧電特性の関係を示したのが第 2 図の線図である。第 2 図は縦軸を比誘電率 ( $\epsilon/\epsilon_0$ ) および電気機械結合係数

( $K_r$ )、横軸を結晶粒径として両者の関係をプロットした線図であり、曲線 (イ) は比誘電率 ( $\epsilon/\epsilon_0$ )、曲線 (ロ) は電気機械結合係数 ( $K_r$ ) を表わしている。第 2 図から比誘電率 ( $\epsilon/\epsilon_0$ ) が 5700 以上、電気機械結合係数 ( $K_r$ ) が 0.55 以上の得られる圧電セラミックス体の結晶粒径は 2～4.5  $\mu\text{m}$  の範囲にあることがわかる。

例えばより具体的には、再び第 1 図から焼成温度 1150℃、保持時間 24 時間の 3.35  $\mu\text{m}$  の結晶粒径をもつ圧電セラミックス体、焼成温度 1175℃、保持時間 24 時間の 3.74  $\mu\text{m}$  の結晶粒径をもつ圧電セラミックス体および焼成温度 1200℃、保持時間 10 時間の 3.92  $\mu\text{m}$  の結晶粒径をもつ圧電セラミックス体について圧電特性を示すと第 1 表に示す結果が得られる。

第 1 表

焼成条件		結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	比誘電率 ( $\epsilon/\epsilon_0$ )	電気機械結合係数 ( $K_r$ )
温度 (℃)	保持時間 (hr)			
1150	24	3.35	6450	0.585
1175	24	3.74	6250	0.575
1200	10	3.92	6350	0.575

次に圧電セラミックス体の機械的強度を評価するため

に、ピツカース硬度計の荷重によって生ずる圧痕のクラック長から破壊じん性値 ( $K_{Ic}$ ) を求めた。第3図は縦軸を圧電セラミックス体の破壊じん性値 ( $K_{Ic}$ )、横軸を結晶粒計とし両者の関係を表わした線図であり、第3図から強度の点からも圧でセラミックス体の結晶粒径の大きさは、破壊じん性値 ( $K_{Ic}$ ) の極大付近で高い値を示す範囲が  $2 \sim 4.5 \mu m$  であることがわかる。

以上第2図、第3図の線図によれば、圧電特性、機械的強度のいずれをも十分に満足する圧電セラミックス体の結晶粒径の大きさは  $2 \mu m$  まで小さくすることはでき  
10  
るが、その上限の大きさは  $4.5 \mu m$  にとどめるのが最適であり、焼成条件は第1図から焼成温度  $1050 \sim 1250^\circ C$ 、保持時間を  $2 \sim 50$  時間とする両者の組み合わせから得られる。

そこで上に述べた  $3.35 \mu m, 3.74 \mu m, 3.92 \mu m$  の各結晶粒径をもつ圧電セラミックス体について、それぞれ厚さ  $0.5 mm$ 、直径  $20 mm \phi$  のもの80枚を積層して積層形圧電アクチュエータ素子を作製し、素子特性を求めた結果、直流電圧を  $400V$  印加し最大変位量  $40 \sim 50 \mu m$ 、最大発生力  $800 \sim 1000 Kgf$  を得ることができた。これらの値は従来素子に  
20  
対してほぼ2倍に相当するものである。

このように本発明の積層形圧電アクチュエータ素子は、これを構成する圧電セラミックス体の結晶粒径の最適範囲を定めることにより、特性値を著しく高めることができる。

#### \* [発明の効果]

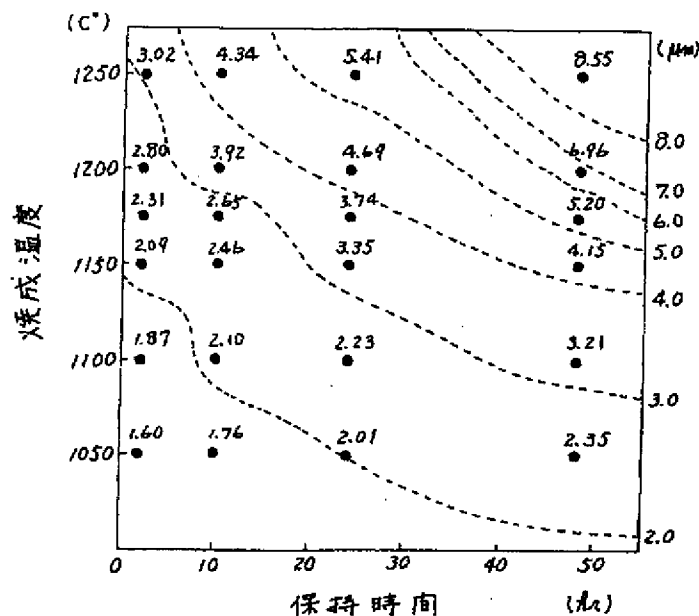
積層形圧電アクチュエータ素子の特性を向上させるために、従来多くの製造条件のうちからそれらの組み合わせにより行なってきたが、本発明では実施例で述べたごとく、圧電セラミックス体の結晶粒径の大きさを制御して最適粒径範囲とすることにより、良好な圧電特性と機械的特性を付与し、これらの圧電セラミックス体を積層した素子の圧電特性に反映させて、高い最大変位量と最大発生力を有し、耐久性にすぐれ信頼性の大きい積層形圧電アクチュエータ素子を得ることを可能としたものである。しかも圧電セラミックス体の結晶粒径の最適範囲を決定するのは、焼成条件のみに依存し、焼成温度と保持時間との相互関係により決定することができるので、製造工程の管理が極めて容易であり効率も高い。

#### 【図面の簡単な説明】

第1図は圧電セラミックス体の結晶粒径をパラメータとする焼成温度と保持時間の関係図、第2図は圧電セラミックス体の比誘電率、電気機械結合係数と結晶粒径との関係線図、第3図は圧電セラミックス体の破壊じん性値と結晶粒径との関係線図、第4図(a)は積層形圧電アクチュエータ素子の構造を示す模式平面図、第4図  
(b)は同じく模式断面図である。

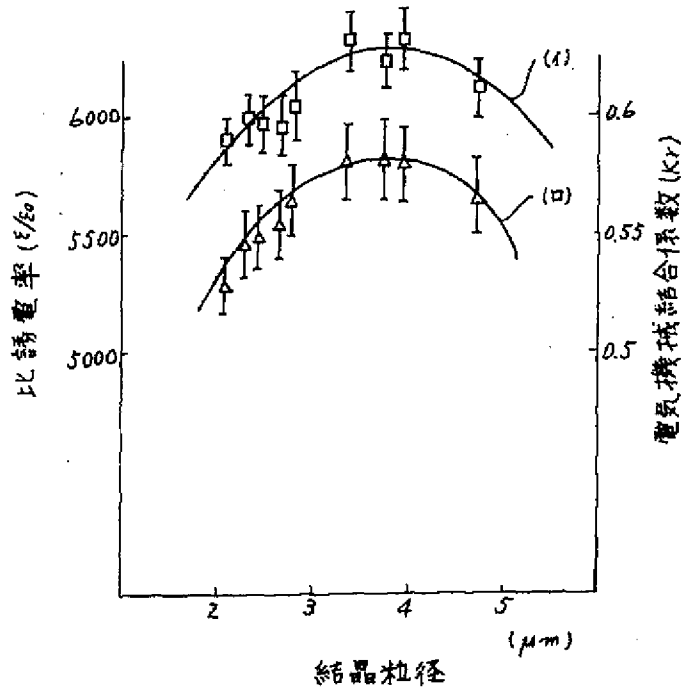
1……積層形圧電アクチュエータ素子、2……圧電セラミックス体、3……内部電極層、4……絶縁層、5……外部電極。

【第1図】

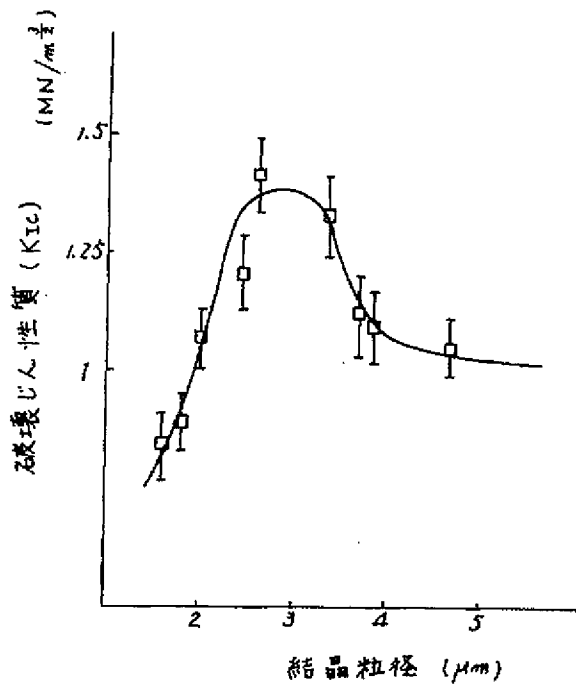




【第2図】



【第3図】



【第4図】

